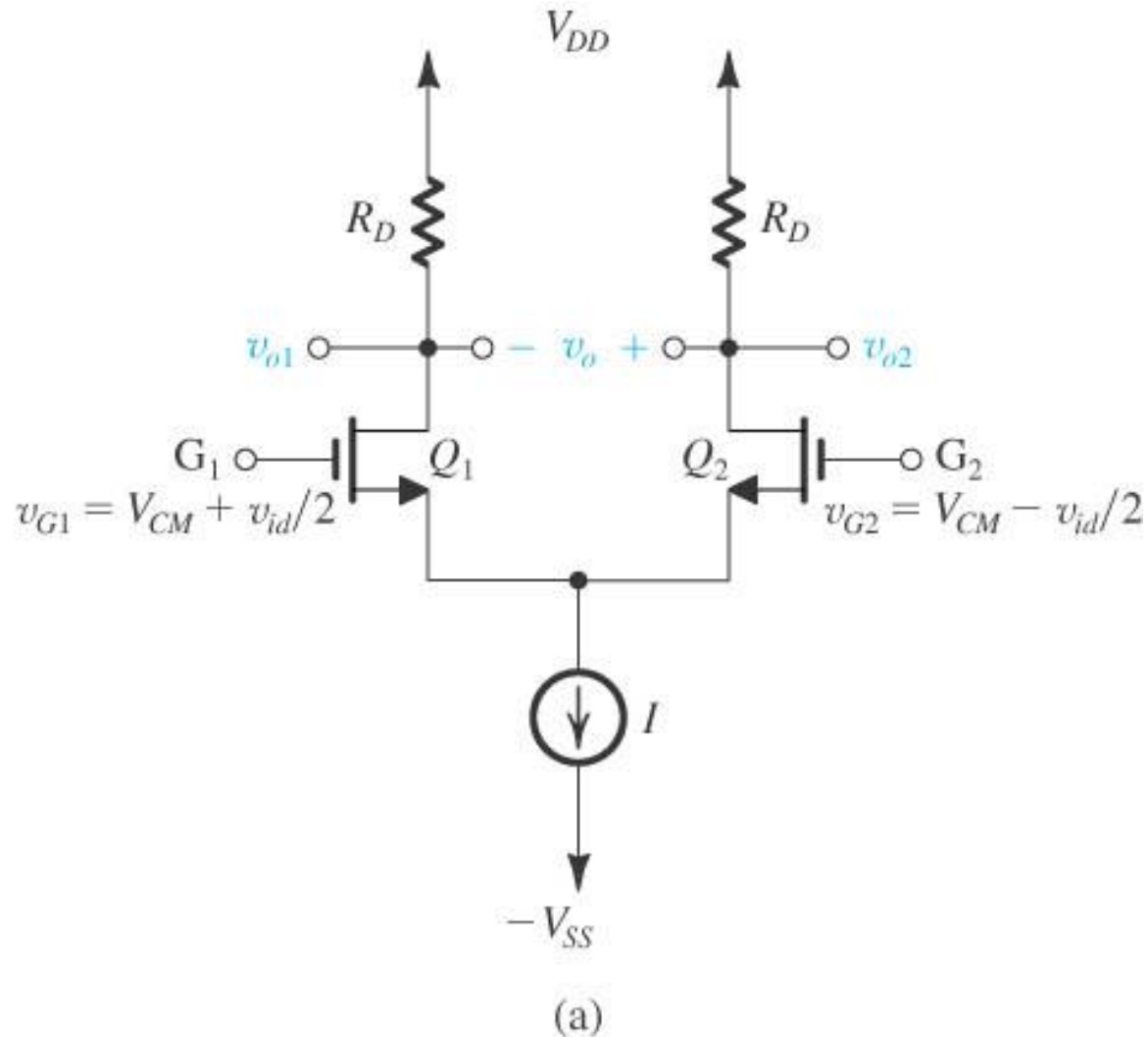


Amplificadores Diferenciais

- ✓ Sinal Diferencial x Sinal único
- ✓ Par Diferencial MOS
- ✓ Par Diferencial BJT
- ✓ Par Diferencial com carga ativa

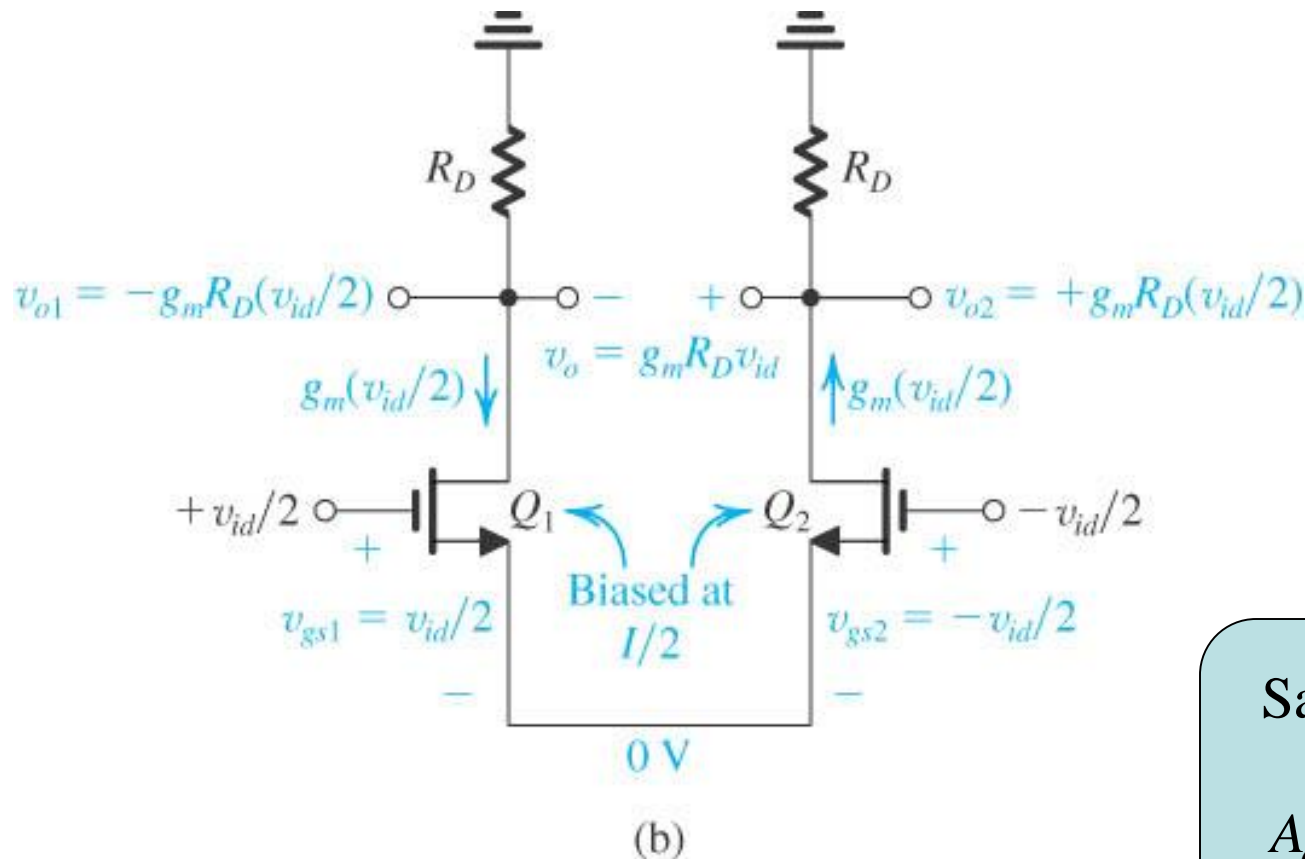
Amplificadores Diferenciais

Análise de pequenos sinais



Amplificadores Diferenciais

Análise de pequenos sinais



Terra Virtual!

Saída sinal único

$$\frac{v_{o1}}{v_{id}} = -\frac{1}{2} g_m R_D$$

$$\frac{v_{o2}}{v_{id}} = +\frac{1}{2} g_m R_D$$

Saída sinal diferencial

$$A_d \equiv \frac{v_{o2} - v_{o1}}{v_{id}} = g_m R_D$$

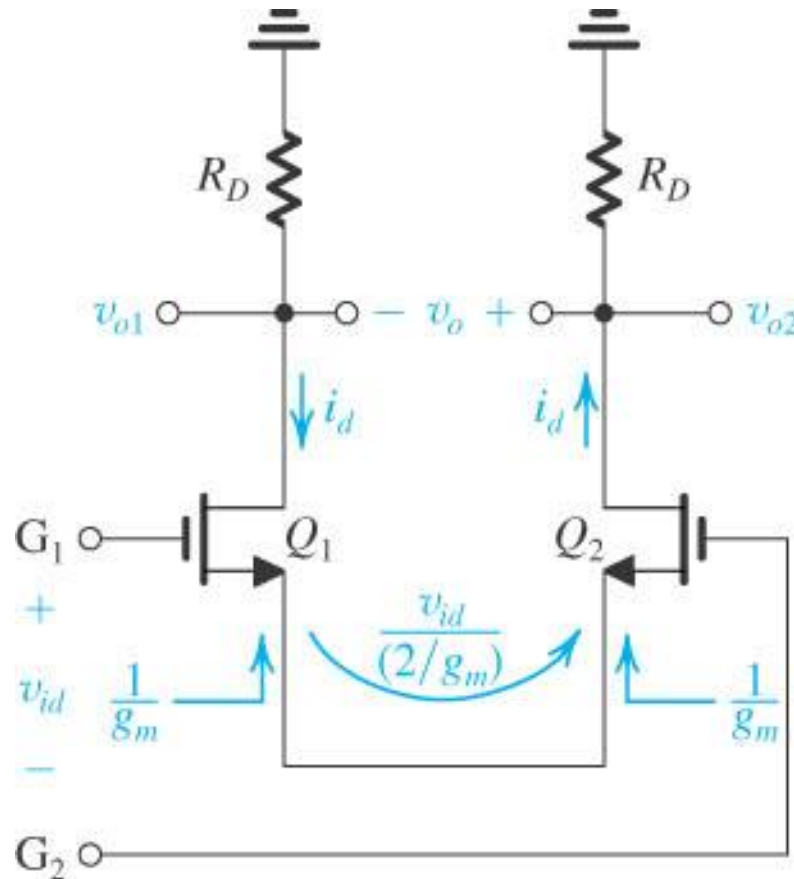
Amplificadores Diferenciais

Análise de pequenos sinais

$$v_{o1} = -i_d R_D$$

$$i_d = \frac{v_{id}}{\frac{1}{g_m} + \frac{1}{g_m}}$$

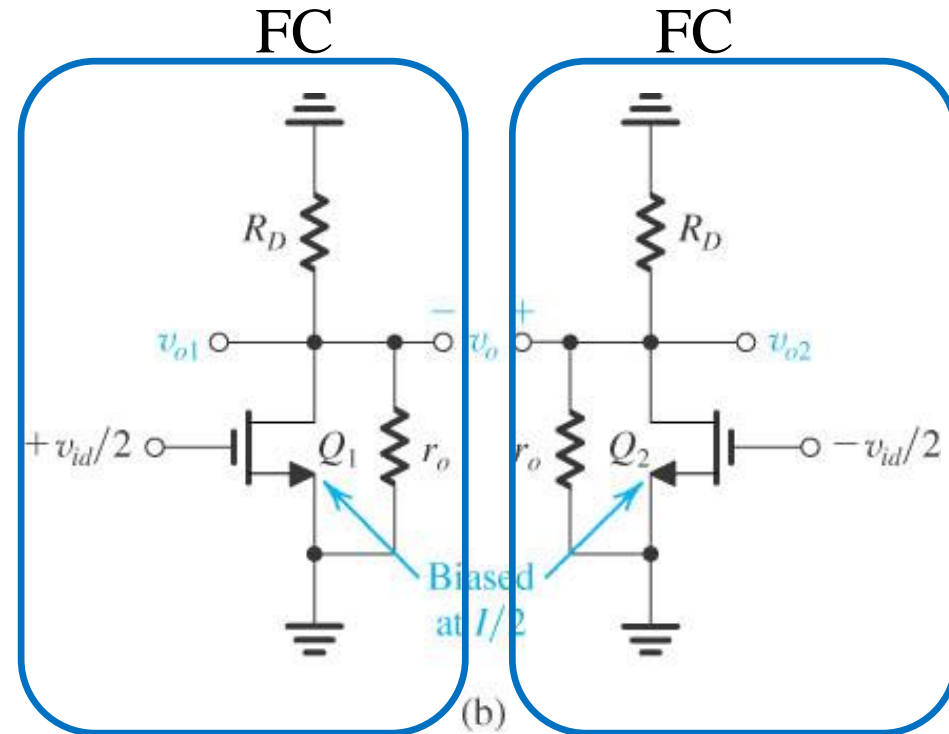
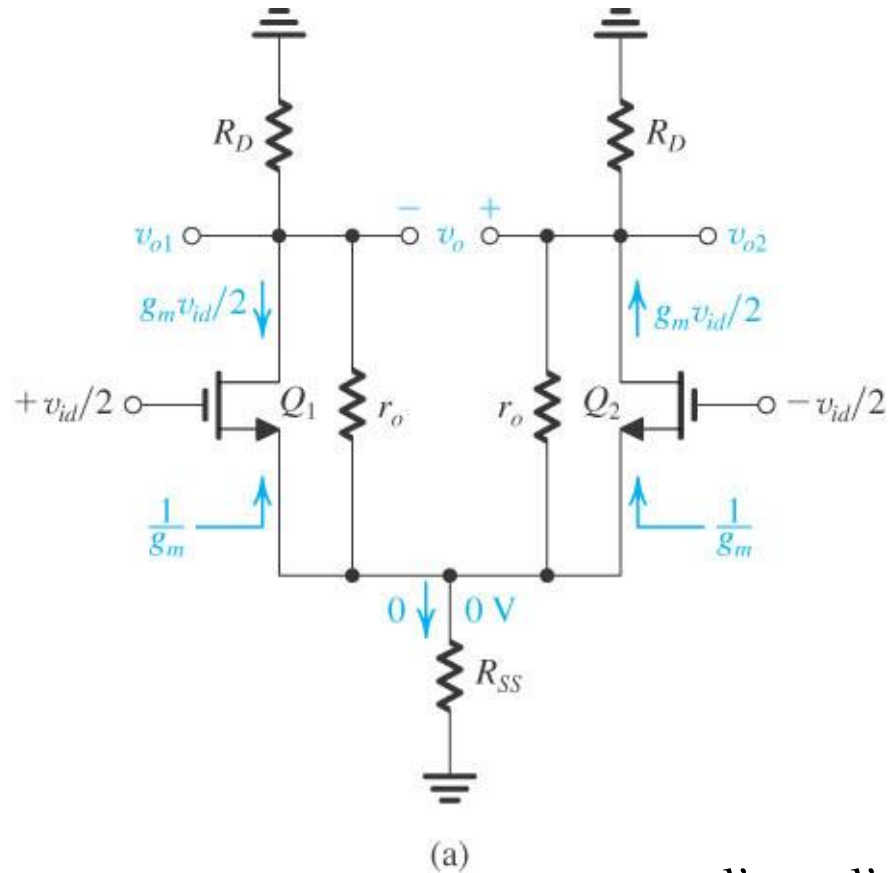
$$\frac{v_{o1}}{v_{id}} = -\frac{1}{2} g_m R_D$$



(c)

Amplificadores Diferenciais

Efeito de r_o sobre a análise de pequenos sinais

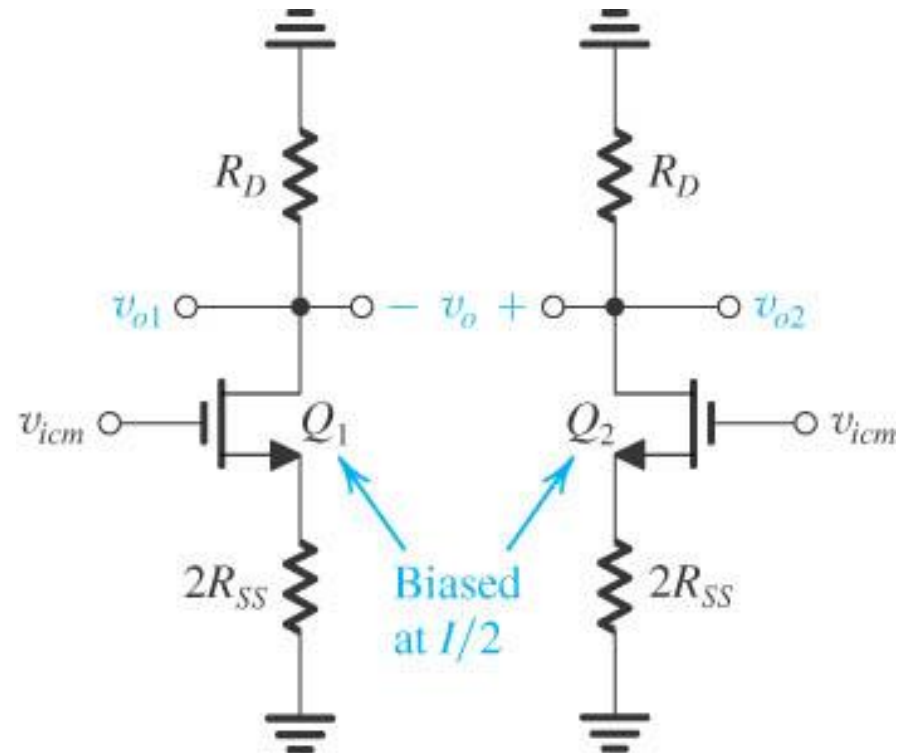
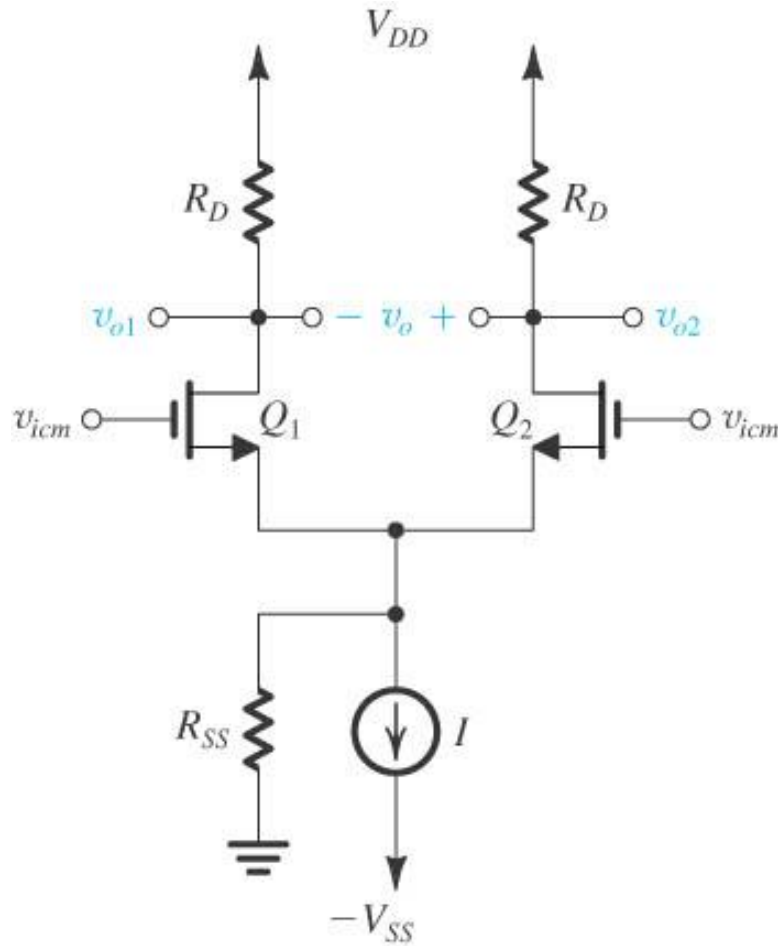


“meio circuito diferencial”

$$\frac{v_{o2} - v_{o1}}{v_{id}} = g_m R_D \parallel r_o \rightarrow \text{Saída sinal diferencial}$$

Amplificadores Diferenciais

Razão de Rejeição de Modo Comum (CMRR)



v_{icm} = sinal de interferência de modo comum

Amplificadores Diferenciais

Razão de Rejeição de Modo Comum (CMRR)

Saída sinal único

$$|A_{cm}| \approx \frac{R_D}{2R_{SS}} \quad |A_{du}| = 1/2 g_m R_D$$

$$CMRR_u \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = g_m R_{SS}$$

Saída sinal diferencial

$$|A_{cm}| = \frac{v_{o2} - v_{o1}}{v_{icm}} = 0 \quad |A_d| = \frac{v_{o2} - v_{o1}}{v_{id}} = g_m R_D$$

$$CMRR_d \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = \infty$$

Amplificadores Diferenciais

Tensão de *offset* do Par Diferencial

Em um par diferencial MOS 3 fatores contribuem na tensão de *offset*.

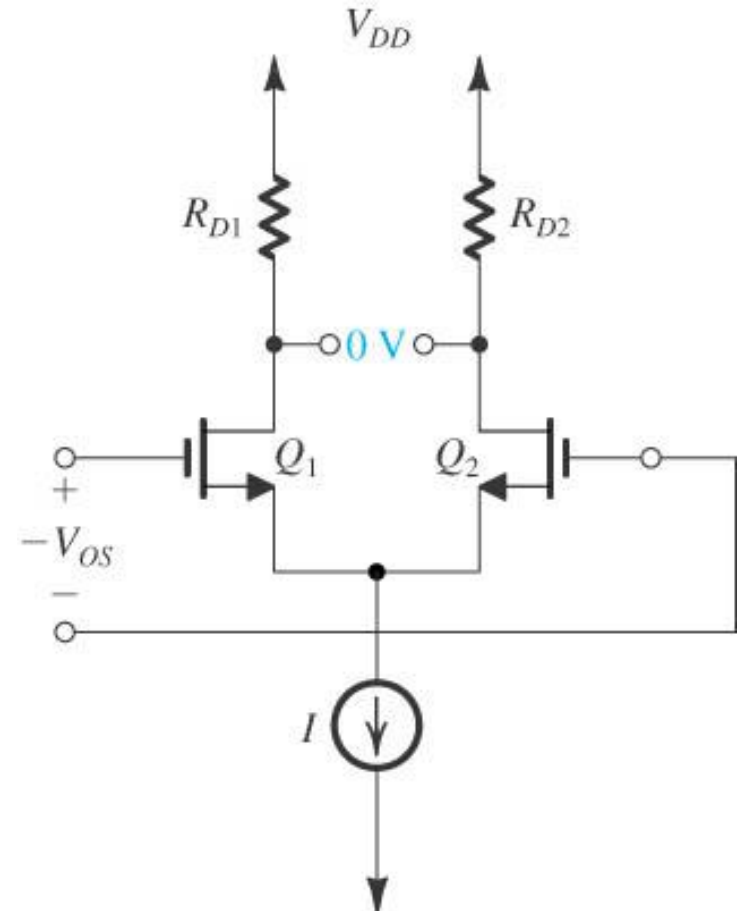
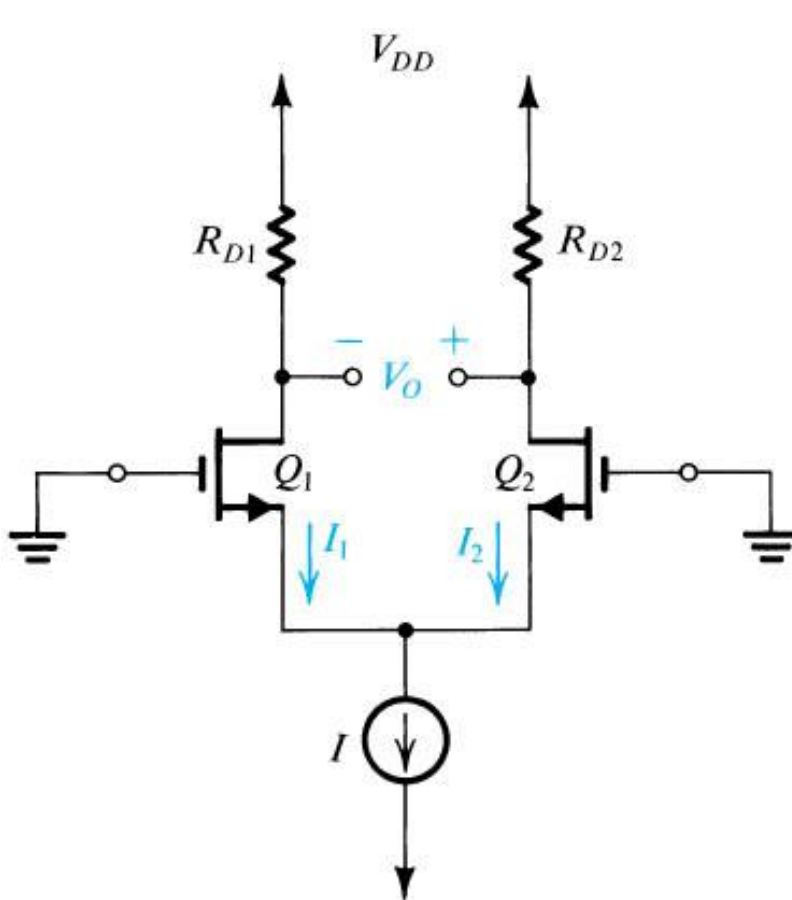
$$\Delta V_t \Rightarrow V_{OS} = \Delta V_t \quad \Delta R_D \Rightarrow V_{OS} = \frac{V_{OV}}{2} \frac{\Delta R_D}{R_D}$$

$$\Delta(W/L) \Rightarrow V_{OS} = \frac{V_{OV}}{2} \frac{\Delta(W/L)}{(W/L)}$$

$$\text{Tensão de offset de entrada} \Rightarrow V_{OS} = V_O / A_d$$

Amplificadores Diferenciais

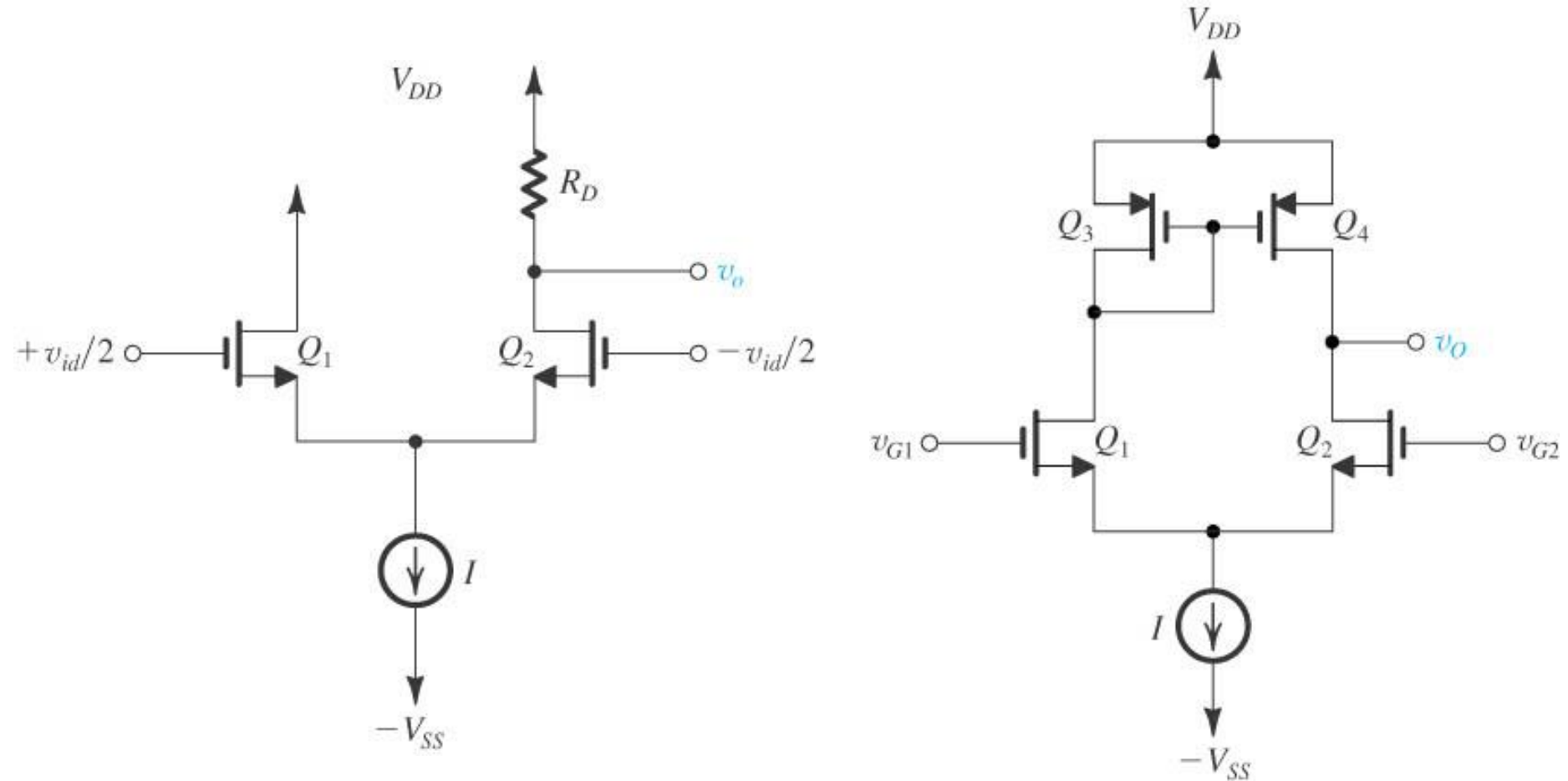
Tensão de *offset* do Par Diferencial



Tensão de offset de entrada $\Rightarrow V_{OS} = V_O / A_d$

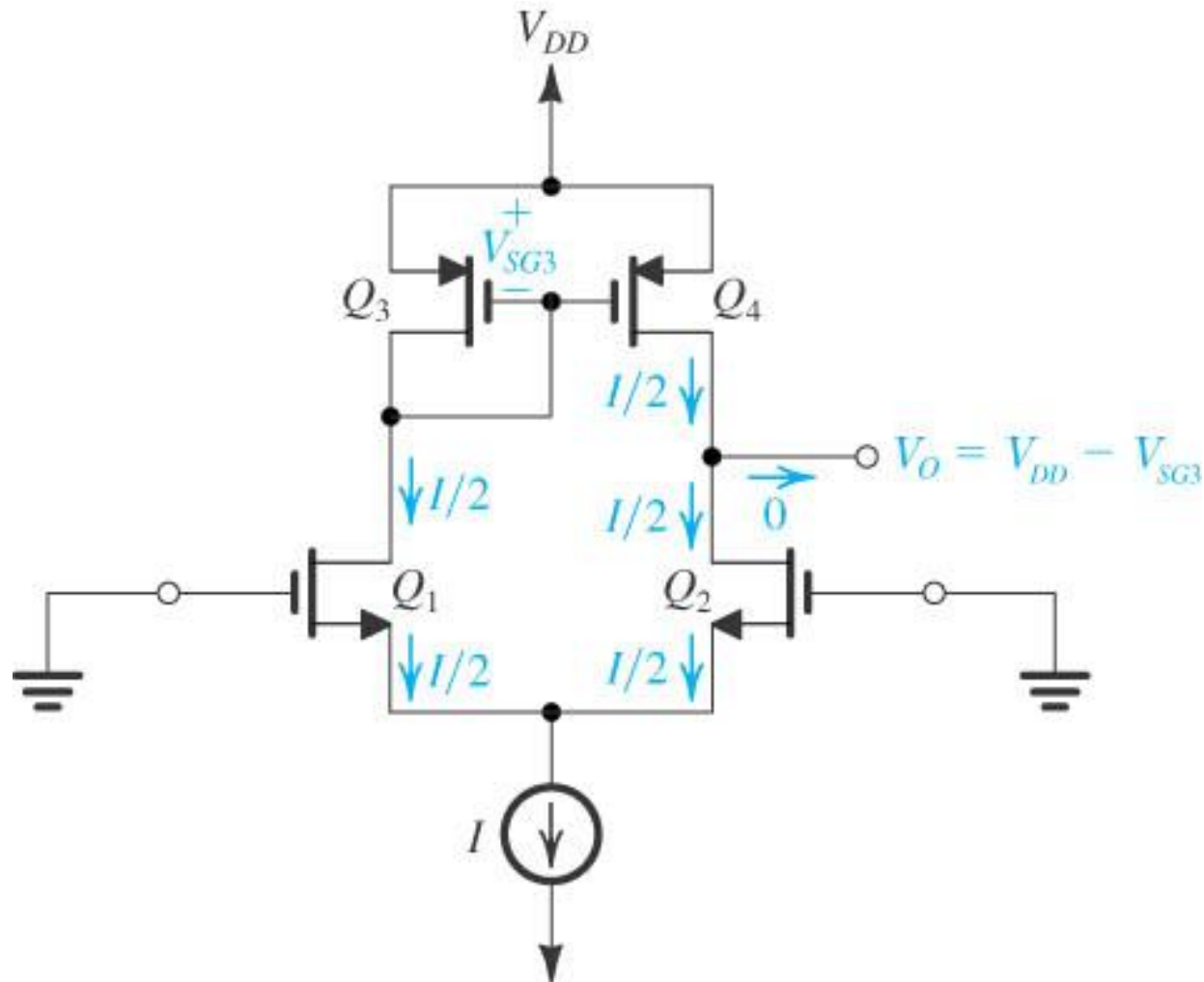
Amplificadores Diferenciais

Par diferencial CMOS com carga ativa
(Espelho de Corrente Ativo)



Amplificadores Diferenciais

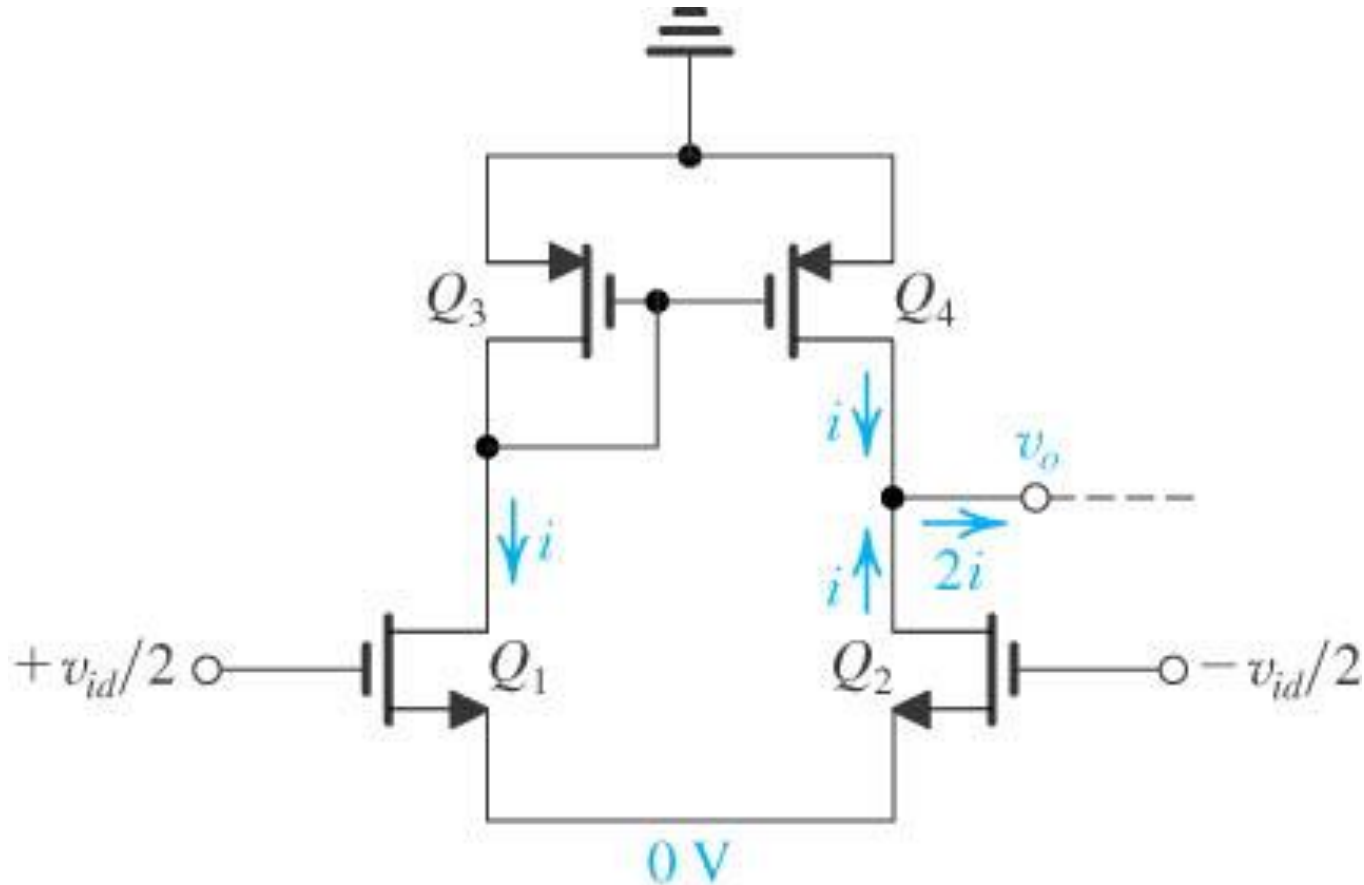
Análise do par diferencial CMOS com carga ativa



Modo comum

Amplificadores Diferenciais

Análise do par diferencial CMOS com carga ativa



Modo diferencial

The diagram shows the small-signal equivalent circuit of a Wilson current mirror. It consists of four MOSFETs: Q_1 , Q_2 , Q_3 , and Q_4 . The gates of Q_1 and Q_2 are connected to ground. The gates of Q_3 and Q_4 are connected to each other and to the source of Q_3 . The source of Q_4 is connected to the drain of Q_2 . The drain of Q_1 is connected to the source of Q_2 . The drain of Q_3 is connected to the source of Q_4 . The output current i_x is taken from the node between the drain of Q_2 and the source of Q_4 . The input current i is injected into the node between the drain of Q_1 and the source of Q_2 . The small-signal parameters shown are: r_{o1} , r_{o2} , r_{o3} , r_{o4} (output resistances), $1/g_{m3}$ (intrinsic gain of Q_3), R_{o2} (output resistance looking into the drain of Q_2), and R_o (output resistance looking into the output node). The output voltage is v_o .

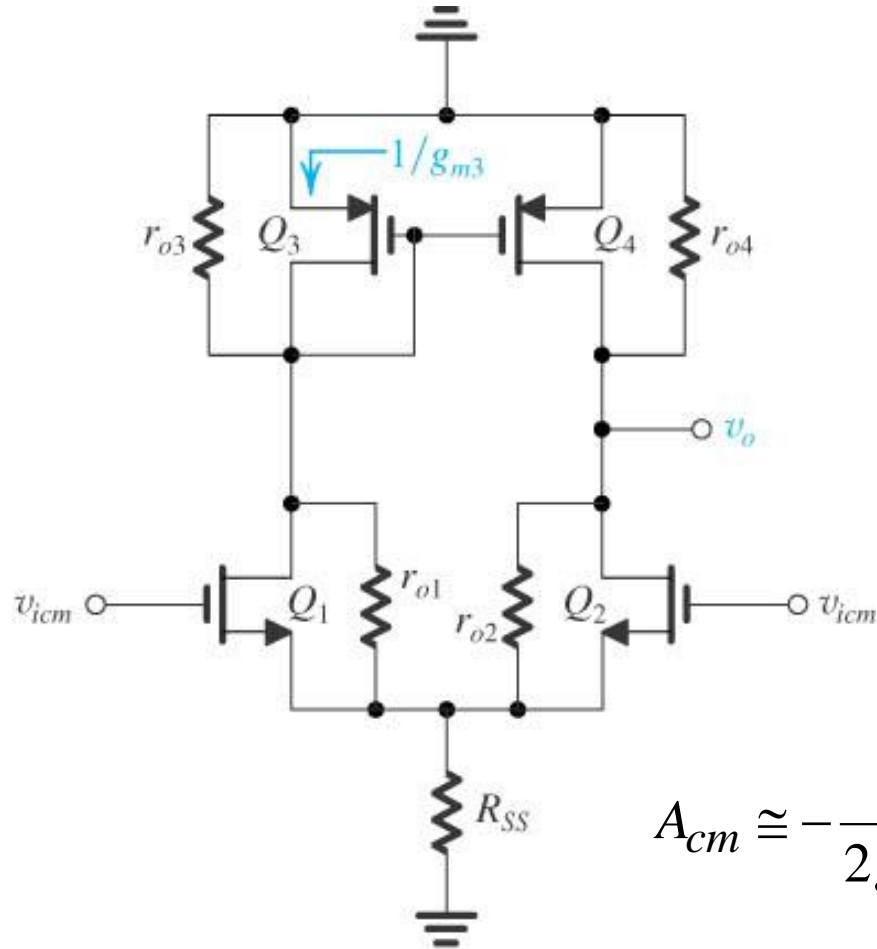
$$A_d = g_m(r_{o2} // r_{o4})$$

$$r_{o2} = r_{o4} = r_o$$

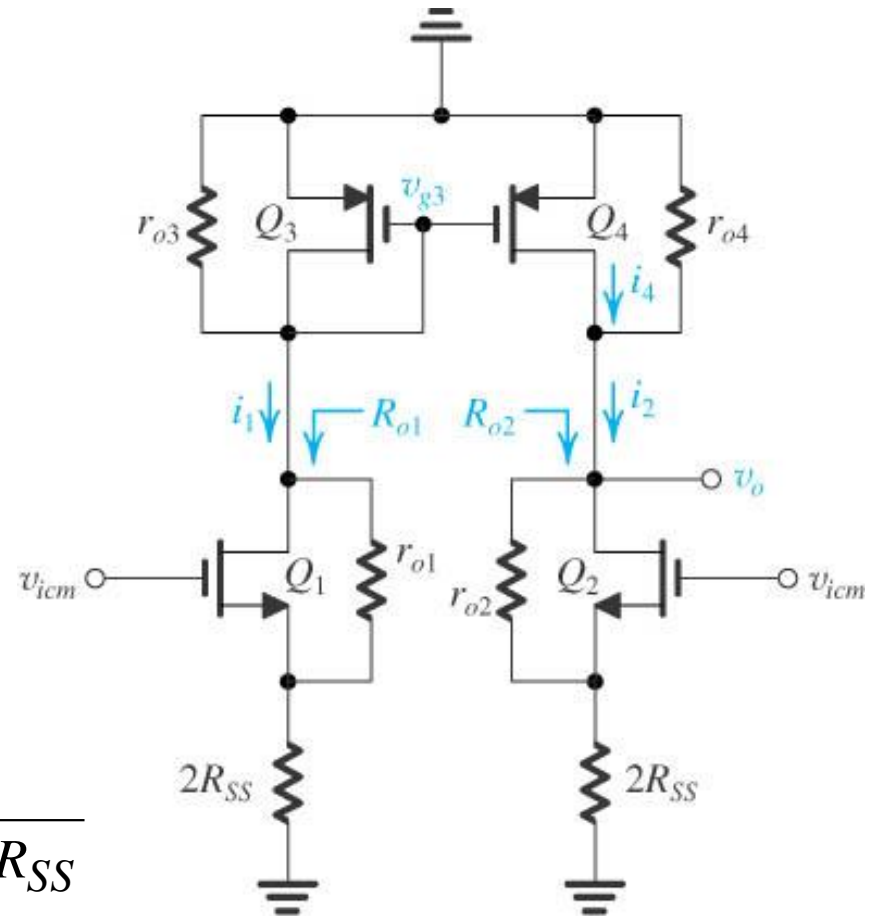
$$A_d = \frac{1}{2} g_m r_o = \frac{A_o}{2}$$

Amplificadores Diferenciais

Ganho em modo comum e CMRR do par diferencial MOS com carga ativa



$$R_{o1} = R_{o2} = r_o + 2R_{SS} + 2g_m r_o R_{SS}$$



$$CMRR = (g_m r_o)(g_m R_{SS})$$

Amplificadores Diferenciais

Ex. 1 - Um amplificador diferencial nMOS possui $V_t = 0,7 \text{ V}$, $W = 100 \text{ }\mu\text{m}$, $L = 1,4 \text{ }\mu\text{m}$ e $\mu_n C_{ox} = 100 \text{ }\mu\text{A/V}^2$. A fonte de corrente de polarização é de $250 \text{ }\mu\text{A}$. Encontre os valores de V_{GS} , g_m . Qual o valor de v_{id} para o completo chaveamento de corrente, ou seja, $i_{dl} = I$. Qual o novo valor da fonte de corrente para dobrar de valor de v_{id} ?

Resposta:

$$V_{GS} \cong 0,89 \text{ V} \quad g_m \cong 1,316 \text{ mA/V}$$

$$v_{id} \cong 0,27 \text{ V} \quad I' = 1 \text{ mA}$$

Amplificadores Diferenciais

Ex. 2 - Um amplificador diferencial nMOS com corrente de polarização de $600 \mu\text{A}$, possui $\mu_n C_{ox} = 100 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $W/L = 80$, $V_A = 20 \text{ V}$ e $R_D = 5 \text{ k}\Omega$. Encontre os valores de V_{OV} , g_m , r_o e A_{dd}

Resposta:

$$V_{OV} \cong 0,27 \text{ V} \quad g_m \cong 2,22 \text{ mA/V}$$

$$r_o \cong 66,66 \text{ k}\Omega \quad A_d \cong 10,3 \text{ V/V}$$

Amplificadores Diferenciais

Ex. 3 – Um par diferencial nMOS é polarizado com uma fonte de corrente de $200\ \mu\text{A}$ e impedância de saída $R_{SS} = 100\ \text{k}\Omega$. O amplificador possui resistências de dreno $R_D = 10\ \text{k}\Omega$. Usando $k'_n W/L = 3\ \text{mA/V}^2$ e r_o muito alto.

- a) Se usarmos a saída em sinal único, qual o valor de $|A_d|$, $|A_{cm}|$ e $CMRR$?
- b) Se a saída for diferencial e existir um erro de 1% entre as resistências de dreno, qual o valor de $|A_d|$, $|A_{cm}|$ e $CMRR$?

Respostas:

$$V_{OV} \cong 0,26\ \text{V} \quad g_m \cong 0,77\ \text{mA/V}$$

$$a) \quad A_d \cong 3,85\ \text{V/V} \quad |A_{cm}| \cong 0,05\ \text{V/V} \quad CMRR \cong 77\ (37,7\ \text{dB})$$

$$b) \quad A_d \cong 7,70\ \text{V/V} \quad |A_{cm}| \cong 0,05 \times 10^{-3}\ \text{V/V} \quad CMRR \cong 15400\ (83,7\ \text{dB})$$

Amplificadores Diferenciais

Sugestão de Estudo:

- Sedra & Smith 5ed.
 - Cap. 7, item 7.2
 - Cap. 7, item 7.4.1
 - Cap. 7, item 7.5
- Razavi. 2ed.
 - Cap. 10, item 10.3.3

Exercícios correspondentes.

Para saber mais:

Razavi - *Design of Analog CMOS Integrated Circuits*, cap. 4